

Biomonitoreo de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos, para el aire de la ciudad de Quito



Autor:

Paco Noriega.
Investigador de la Universidad
Politécnica Salesiana.

Estudiantes de la UPS:

Antón Murillo, Julio Puente,
Juan Bedón, Galo Galecio,
Fernando Haro.

Colaborador Externo:

Profesor Alessandro Medici.
Universidad de Ferrara-Italia.

Biomonitoreo de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos, para el aire de la ciudad de Quito

Autor:

Paco Noriega.
Investigador de la Universidad
Politécnica Salesiana.

Estudiantes de la UPS:

Antón Murillo, Julio Puente,
Juan Bedón, Galo Galecio,
Fernando Haro.

Colaborador Externo:

Profesor Alessandro Medici.
Universidad de Ferrara-Italia.

Biomonitoreo de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos,
para el aire de la ciudad de Quito

Paco Noriega.

1era. edición: Ediciones Abya-Yala
Av. 12 de Octubre 14-30 y Wilson
Casilla: 17-12-719
Teléfonos: 2506-247 / 2506-251
Fax: (593-2) 2506-255 / 2 506-267
e-mail: editorial@abyayala.org
www.abayayala.org
Quito-Ecuador

Diseño y
Diagramación: Ediciones Abya-Yala

ISBN Abya-Yala: 978-9978-10-041-7

Impresión: Abya-Yala
Quito-Ecuador

Impreso en Quito Ecuador, diciembre 2008

1. Introducción.

El aire es, sin lugar a dudas, el elemento más importante durante nuestras vidas.

Sin comer se puede sobrevivir por más de una semana, sin tomar agua, por más de tres días; sin embargo, sin respirar no superamos los cinco minutos.

La calidad del aire influye directamente nuestra calidad de vida. Un aire contaminado nos afecta de distintas maneras: produce y acelera enfermedades respiratorias, intoxica arrastrando hacia nosotros elementos y compuestos peligrosos; y por ende disminuye la esperanza de una vida saludable.

Más allá de los problemas ambientales generales como, el calentamiento global y la disminución en la capa de ozono, muchas veces olvidamos al aire circundante, que es aquel que respiramos.

La ciudad de Quito, hace unos decenios, estaba habitada de pocos cientos de miles de habitantes. En la actualidad llega casi a los dos millones, incluyendo a las ciudades satélites que prácticamente se han unido a la urbe.

Este intenso crecimiento demográfico trajo consigo los problemas ambientales que toda gran metrópoli posee: crecimiento industrial, incremento de desechos y aumento del parque automotor. Todos éstos, en mayor o menor grado, causantes del deterioro del aire.

La atmósfera es una capa protectora que hace posible la vida en la tierra y la protege del ambiente hostil del espacio exterior. Es fuente de dióxido de carbono para la fotosíntesis de las plantas y de oxígeno para la respiración. Proporciona nitrógeno que las bacterias fijadoras de nitrógeno y las plantas productoras de amoníaco usan para producir el nitrógeno enlazado químicamente, que es un componente esencial de las moléculas de los seres vivos.

Lamentablemente, con el desarrollo industrial humano, la atmósfera es también el sitio de destino de muchos materiales contaminantes.

1.2 Los Contaminantes Analizados.

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, con la ayuda de la Corporación (CORPAIRE), desde hace varios años trabaja con la finalidad de mejorar la calidad del aire, a través de su monitoreo, y el control de emisión de gases tanto del sector industrial como vehicular.

Los controles hechos al aire se cumplen de manera periódica en ocho sitios de la ciudad e involucran los siguientes parámetros (tabla 1).

Tabla 1.
Número de eventos registrados que superan la Norma
Ecuatoriana de Calidad del Aire. Año 2004

Estación	PM 10	PM 2,5	SO2	CO	CO	O3	O3	NO2
	(24 h)	(24 h)	(24 h)	(8 h)	(1 h)	(8 h)	(1 h)	(24 h)
El Condado	0	n/a	0	0	0	0	0	0
Turubamba	n/a	0	0	0	0	n/a	n/a	0
Belisario	1	0	0	0	0	2	3	0
Jipijapa	3	0	0	0	0	n/a	n/a	0
El Camal	n/a	0	0	0	0	0	0	0
Centro	n/a	0	0	0	0	n/a	n/a	0
Chillogallo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0	0	n/a
Tumbaco	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	4	4	n/a
Los Chillos	0	n/a	n/a	n/a	n/a	0	0	n/a

n/a, significa que no existe analizador en la estación
PM, significa material particulado respirable.

1.3 Los Contaminantes Orgánicos VOCs.

Como se puede apreciar en los resultados arrojados, en casi ninguno de ellos se hallan niveles superiores a los permitidos, a excepción del ozono.

El ozono (O3) es una forma de molécula triatómica del oxígeno, muy importante pues conforma la mundialmente conocida capa de ozono, responsable de proteger a quienes habitamos la tierra de los peligrosos rayos ultravioleta. A varios kilómetros de distancia la función de esta molécula resulta benéfica para todos. Empero, no ocurre lo mismo a nivel superficial, aquí el ozono resulta tóxico, entre sus principales efectos: ablanda el caucho, destruye las plantas, y en los humanos causa problemas respiratorios e irritación ocular. Estos problemas se manifiestan a bajas concentraciones, alrededor de 100 ppb por hora. Grandes ciudades como Nueva York, Chicago o los Ángeles, superan los 120 ppb por hora.

Los efectos nocivos del ozono proceden de sus características de oxidante fuerte. El ozono reacciona fácilmente con moléculas que contienen dobles enlaces C=C para originar epóxidos. Estas moléculas con dobles enlaces son abundantes en el caucho, en el sistema fotosintético de las plantas y en las

membranas pulmonares. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) no son contaminantes primarios, ya que no afectan directamente a la salud. Son los ingredientes principales del smog fotoquímico, la neblina amarillenta que recubre la mayoría de las grandes ciudades del mundo. (gráfico 1)



Gráfico 1. Fotografía de la ciudad de Quito en donde se aprecia el smog fotoquímico.

Los efectos dañinos del smog son originados por el ozono y otros oxidantes, estos compuestos solo se producen por la acción combinada del NO_x y los VOCs. El control de la formación de smog implica una reducción de las emisiones de NO_x y VOCs, los cuales son producidos, en su mayor parte, por las emisiones industriales y de los automotores. (gráfico 2 y 3)

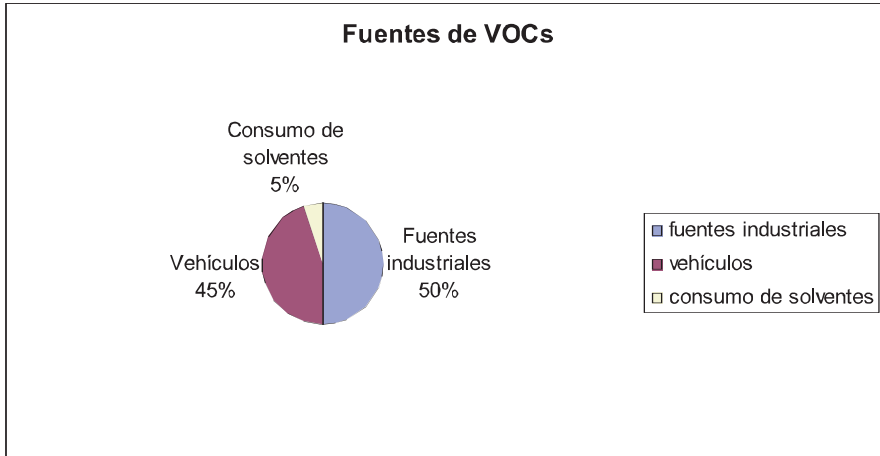


Gráfico 2. Principales fuentes de emisión de VOCs.

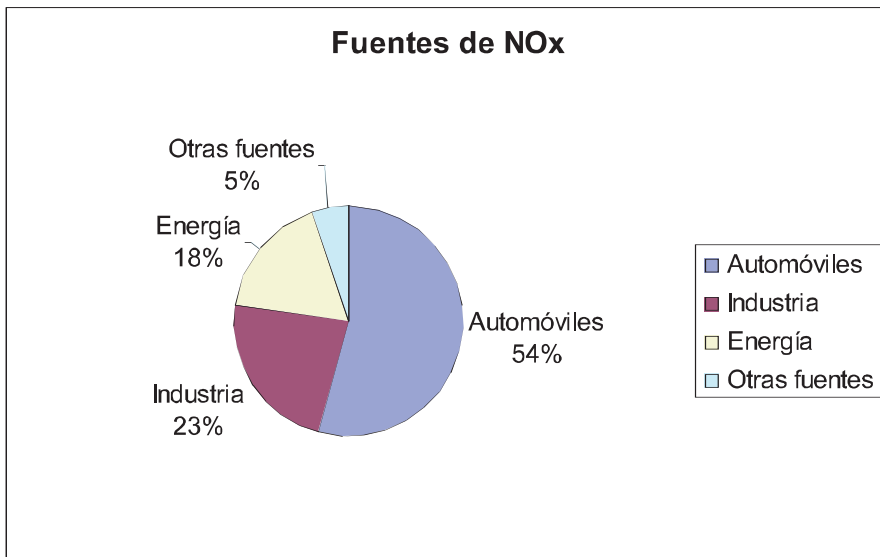
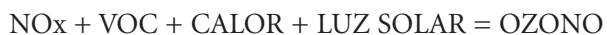


Gráfico 3. Principales fuentes de emisión de NOx

El ozono se produce por una serie de reacciones que involucran a los: VOCs, los NOx, al calor y a la luz solar.



Según la CORPAIRE, los NOx y el ozono se hallan monitoreados, mas no los VOCs.

1.4 Los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos PAHs.

Se trata de hidrocarburos análogos al Benceno que contienen varios anillos de seis miembros, conectados entre ellos por medio de la comparación de un par de átomos de carbono adyacentes, lo cual da lugar a anillos fusionados. El ejemplo más simple es el naftaleno $C_{10}H_8$. Otros miembros de esta familia son el Antraceno, Fenantreno o el Pireno.

Los PAHs se introducen en el medio ambiente a partir de varias fuentes: los gases de escape de los motores de combustión de gasolina y especialmente de diesel, el alquitrán de los cigarrillos, la superficie de los alimentos carbonizados o quemados, el humo de la combustión de la madera o del carbón, así como otros procesos de combustión en los que el carbono del combustible no sea convertido completamente a CO o CO_2 . Aunque constituyen sólo un 0,1% de las partículas atmosféricas, preocupa su existencia como contaminante del aire, ya que muchos PAHs son cancerígenos, al menos en ensayos con animales.

1.5 Los BTX.

Los BTX (Benceno, Tolueno y Xileno), son componentes comunes de las gasolinas, también se consideran parte de esta familia a compuestos como el cloro y el dicloro Benceno, y el Dietilbenceno. Los BTX, han sido añadidos en los últimos años a las gasolinas para reemplazar el uso de compuestos con plomo, y de esta manera reducir el poder detonante de las gasolinas, esto ha traído como resultado un incremento de BTX en el aire exterior. Causan preocupación debido a su capacidad carcinógena, en especial el Benceno, al que se lo ha relacionado con la aparición de la leucemia.

El Benceno inhalado es absorbido rápidamente por la sangre, de la que es tomado fuertemente por los tejidos grasos. Para el compuesto no metabolizado, el proceso es reversible y el benceno se excreta a través de los pulmones. Lo metabolizado se transforma a fenol en el hígado, por medio de una reacción de oxidación. El intermediario epóxido del Benceno, reactivo y de corta vida, que se sabe participa en esta reacción es, probablemente, responsable de gran parte de la toxicidad del Benceno que incluye el daño a la médula ósea. Además del Fenol, se producen otros derivados oxigenados del Benceno cuando éste se metaboliza, como ácido trans, trans-mucónico, producido por la ruptura del anillo bencénico.

El Benceno es un irritante de la piel y exposiciones progresivamente más altas pueden causar enrojecimiento de la piel (eritema), sensación de quemaduras, acumulación de fluidos (edema) y ampollas. La inhalación, durante una hora, de aire que contiene aproximadamente, $7g/m^3$ de Benceno causa envene-

namiento agudo, debido a un efecto narcótico sobre el sistema nervioso central que se manifiesta progresivamente por la excitación, depresión, fallos en el sistema respiratorio y la muerte. La inhalación de aire que contenga más de, aproximadamente, 60 g/m³ de Benceno, puede ser fatal en unos minutos.

Las exposiciones a largo plazo a bajos niveles de benceno causan síntomas no específicos, que incluyen fatiga, dolor de cabeza y pérdida del apetito.

El Tolueno, un líquido incoloro que hierve a 101°C, es clasificado como ligeramente tóxico por inhalación o ingestión; tiene una toxicidad baja por exposición dérmica. Debido a que posee una cadena alifática CH₃ que puede oxidarse enzimáticamente a productos que se excretan prontamente del cuerpo, el Tolueno es mucho menos tóxico que el Benceno.

1.6 Los Metales Pesados el Plomo y el Cadmio.

En los años veinte del siglo pasado se descubrió que la adición a la gasolina de compuestos organometálicos de plomo, especialmente Tetraetil o Tetrametilplomo, disminuye la detonación. En los años posteriores, el plomo se incorporó prácticamente a todas las gasolinas con el objeto de mejorar sus características. Los aditivos de plomo suprimen las reacciones radicalares encadenadas que se producen en la fase de preignición. A medida que la mezcla aire- combustible se comprime y calienta, se produce la ruptura de los débiles enlaces alquil-plomo y la eliminación de los átomos de plomo, los cuales se combinan posteriormente con el oxígeno para formar partículas de PbO y PbO₂. Estas partículas proporcionan sitios de unión a los radicales hidrocarbónicos, poniendo término a la cadena de reacciones. Para eliminar la acumulación de depósitos de plomo en el interior de la superficie del motor, las gasolinas con plomo también contienen Dicloroetileno o Dibromoetileno. Estos compuestos organohalogenados actúan como limpiadores de plomo, originando PbX₂ (donde X = Cl o Br). Debido a que estos compuestos son volátiles a las elevadas temperaturas de escape, eliminan el plomo del interior del motor liberándolo a la atmósfera.

A mediados de los años setenta se empiezan a comercializar en Estados Unidos la gasolina sin plomo, desplazando gradualmente a la gasolina con plomo, en Ecuador este cambio es reciente. La razón se debe a que los compuestos de plomo de los gases de escape reaccionan con los catalizadores de platino y rodio de los convertidores catalíticos, envenenando su superficie e inactivándolos. El incremento de la flota de automóviles con catalizador, aumento el consumo de la gasolina sin plomo. Esta sustitución ha tenido un efecto favorable sobre la contaminación del plomo, y en general sobre la contaminación atmosférica. La exposición humana disminuyó significativamente cuando el plomo fue eliminado.

El plomo tiene efectos neurotóxicos, daña los riñones y el aparato reproductor. Aún la exposición de baja intensidad afecta el desarrollo mental infantil.

El cadmio, Cd, se encuentra en el mismo subgrupo de la tabla periódica que el zinc y el mercurio, pero es más similar al primero. Su única especie es la 2+. Como en el caso de otros metales pesados, la quema de carbón introduce cadmio al medio ambiente. El tratamiento por incineración de residuos que contienen cadmio es, también, una fuente importante del metal en el medio ambiente.

Una aplicación importante del cadmio es como electrodo en baterías recargables de níquel-cadmio, utilizadas en calculadoras y en aparatos similares. Con el fin de no emitir partículas de cadmio al medio ambiente después de la combustión, algunos municipios obligan a separar las baterías de níquel-cadmio del resto de la basura.

En forma iónica el principal uso del cadmio, es como pigmento, siendo ampliamente utilizado para pigmentar plásticos, han sido empleados sales de azufre y selenio CdS y CdSe.

El CdSe se usa también en dispositivos fotovoltaicos (como las células fotoeléctricas) y en pantallas de televisión. El Cd es una sustancia cancerígena, una exposición prolongada daña los riñones y los huesos.

Tanto el Cd como el Pb, son componentes de la denominada basura electrónica, es decir la proveniente de televisores, computadoras, celulares y demás dispositivos electrónicos.

1.7 Las Briofitas.

En el ambiente terrestre, con cerca de 20.000 especies, las briofitas son el segundo grupo más importante de plantas verdes. Son plantas de pequeño tamaño que han colonizado el medio terrestre, aunque abundan principalmente en lugares de elevada humedad, puesto que necesitan del agua para llevar a cabo su ciclo reproductor.

Otra característica de las briofitas es que presentan una alternancia de generaciones heteromórfica, en la cual el gametófito es haploide y es la generación dominante frente al esporófito que es diploide y se desarrolla sobre el gametófito.

Según la morfología del gametófito encontramos dos tipos de briofitas: Las briofitas talosas son las antocerotas y algunas hepáticas, su gametófito es un talo aplanado que se fija al sustrato por unos rizoides (pequeños filamentos que no tienen poder absorbente).

Las briofitas foliosas son los musgos y la mayor parte de las hepáticas, estos gametófitos poseen un caulidio (eje) fijado también por rizoides al sustrato, además a lo largo del caulidio poseen unas pequeñas hojas o filidios.

Otra característica de las briófitas es que no tienen un tejido conductor como puede ser el xilema o el floema de las plantas vasculares, algunos no tienen células conductoras y usan toda su superficie para absorber agua y nutrientes, y otras tienen unas células conductoras más específicas.

Los musgos son plantas muy simples, sin vasos conductores, ni flores, ni frutos, que viven en lugares húmedos y sombríos, aunque resisten períodos de sequía. Los musgos inhiben la erosión del suelo y promueven la retención de la humedad del mismo. Los musgos son plantas de amplia distribución mundial, que usualmente viven en lugares húmedos o cerca del agua. Se encuentran entre los primeros organismos que colonizan las rocas, pues al crecer sobre ellas modifican su superficie, formando un sustrato en el que se pueden arraigar otras plantas. Es frecuente encontrarlos a manera de alfombras en el piso de los bosques húmedos, aunque también crecen sobre las ramas y los troncos de árboles, en techos de edificaciones, en muros de concreto y hasta sobre las alfombras.

Las briofitas poseen varias ventajas sobre otros grupos de especies: Reaccionan rápidamente a cambios en la estructura del aire. Muchas especies están restringidas a ciertas condiciones microclimáticas. Muchas especies poseen áreas de distribución geográfica muy amplias. Son un grupo relativamente pequeño, con aproximadamente 4000 especies en América tropical.

Desde el punto de vista taxonómico, las briofitas se conocen relativamente bien. La facilidad que poseen este tipo de plantas para vivir en diferentes tipos de zonas climáticas y atmosféricas, ya que su única fuente de vida y se puede decir de alimento es el agua líquida. Las briofitas son muy adecuadas como indicadores, especialmente por su amplia distribución geográfica. Debido a esta particularidad, pueden ser utilizadas como indicadores en amplias regiones de los bosques neotropicales y ciudades, mientras que la mayoría de las plantas vasculares sólo son indicadores locales. La desventaja de utilizar briofitas es su pequeño tamaño y el hecho de que pocos especialistas en este grupo viven en América del Sur.

1.8 El Biomonitoreo.

Esta técnica se basa en el principio de que una sustancia tóxica es perjudicial a los organismos vivos, así por medio de estos logramos determinar la concentración de contaminantes tanto en el organismo como en el medio en el que se desenvuelven.

Entre los organismos más usados, como bioindicadores y bioacumuladores, se encuentra los musgos. Las técnicas del biomonitoreo de un producto biológico

Representa un campo independiente de la búsqueda de contaminantes en el campo biológico y puede convertirse en una ayuda válida para alcanzar un propósito común, representado por la mejora de la calidad del aire que respiramos.



Las muestras fueron recogidas íntegras, llevando consigo la corteza o tronco que las acogían. (Grafico 5 y 6)



Gráfico 5. Recolección del musgo



Gráfico 6. Musgo recolectado

2.2 Ubicación de los Bio monitores.

Para ubicar a los musgos se escogieron 20 puntos a lo largo y ancho de la ciudad de Quito y comunidades aledañas. Fueron depositados en parques y avenidas, sembradas en árboles, manteniendo la corteza original que los mantenía, asegurando las muestras con la ayuda de cinta adhesiva. (Grafico 7 y 8)

Los puntos seleccionados fueron los siguientes.

Punto 1. Av. General Enríquez (Sangolquí)

Sur de Quito.

Punto 2. Yumanay Ñan y Av. Maldonado (Sector Guamaní)

Punto 3. Ajaví y Cardenal de la Torre (Sector Parque Lineal)

Punto 4. Av. Rumichaca y Av. Morán Valverde (Sector UPS-Sur)

Punto 5. Quitus y Jacinto Collaguazo (Sector La Magdalena)

Norte y Centro de Quito.

Punto 6. Av. 10 de Agosto y Gran Colombia (Parque la Alameda)

Punto 7. Santa Lucía e Isabel la Católica (Sector UPS-Girón)

Punto 8. Av. Enríquez Rícter y Av. La Gasca (sector La Gasca)

Punto 9. Av. Mariana de Jesús (Parque de la Mujer)

Punto 10. Av. Japón y Av. Naciones Unidas (Parque la Carolina)

Punto 11. Av. Francisco Urrutia y Eloy Alfaro (parque Chile)

Punto 12. Av. Eloy Alfaro (partidero a Zámbrisa)

Punto 13. Av. Charles Darwin (Sector Quito Tennis)

Punto 14. Av. 10 de Agosto y Cap. Ramón Borja (Sector la Luz)

Punto 15. Av. Machala (parque Inglés)

Punto 16. Av. Luis Guerrero (sector Cotacollao)

Punto 17. Arupos y Tulipanes (sector Ponciano Bajo)

Punto 18. Av. Alonso Vaca y Diego Parra (Carcelen)

Punto 19. Carapungo.

Punto 20. Calderón.

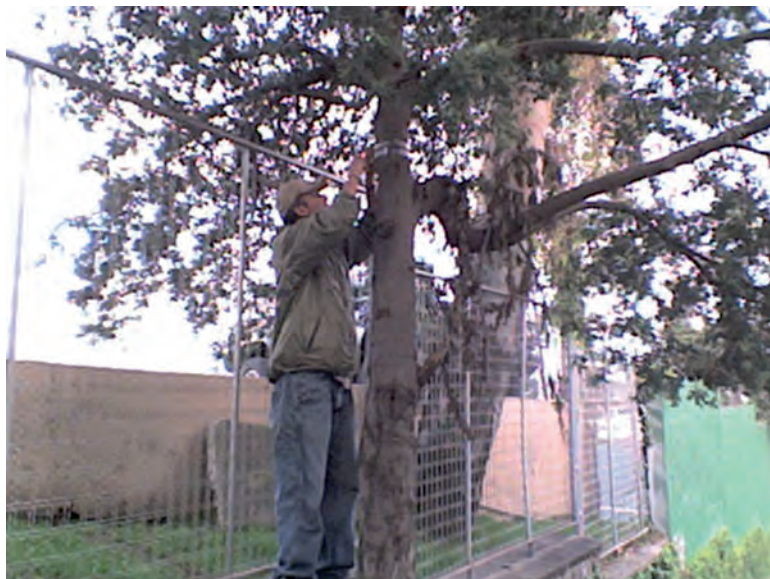


Gráfico 7. Colocación de los Bio monitores en parques y avenidas de Quito



Gráfico 8. Colocación de los Bio monitores en parques y avenidas de Quito

Los monitores biológicos pasivos permanecieron en sus puntos durante 50 días, equivalentes al 14% de un año.

2.3 Tratamiento de las Muestras.

Recolección de los Biomonitores.

Transcurrido el tiempo previsto (50 días), se recogieron las muestras de los sitios respectivos y fueron trasladados de inmediato a los laboratorios del CIVABI.

Tratamiento Previo de la muestra.

Las muestras fueron secadas al ambiente, por varios días y posteriormente molidas finamente para el análisis.

2.4 Análisis de metales pesados, plomo y cadmio.

Se pesaron exactamente con la ayuda de una balanza analítica alrededor de 0,5 gramos. Los cuales fueron digeridos con 5mL de una mezcla de 8 partes de HNO₃ y 2 partes de HCl, a reflujo por 2 horas.

Se filtró el residuo y se aforó a 25mL con agua destilada.

Independientemente, se trabajó con un blanco que contenía musgo que no absorbió la contaminación del ambiente, para encerrar el equipo de absorción atómica. Para el análisis se comparó la concentración de los musgos con una serie de estándares de concentraciones de Cd y Pb.

Para el ensayo se empleó un equipo de absorción marca Varian, modelo SpectrAA 50.

2.5 Análisis de los BTX.

- a) Para este análisis se pesaron exactamente con la ayuda de una balanza analítica alrededor de 0,25 gr. de musgo.

Como solvente se utilizó metanol calidad HPLC, en contacto con el musgo por 30 minutos y ultrasonido, finalmente se llevó a un volumen de 3mL con Metanol.

La solución de 0,2 ppm se preparó usando un estándar certificado de BTX, de la casa ACCUSTANDAR, catálogo DIN38407-9-BENZ, de concentración 100 ppm.

- b) Para extraer los analitos, se usó el método de espacio de cabeza, combinado con microextracción en fase sólida, empleando una fibra SPME polidimetilsiloxano.

Para el estándar se tomaron 1mL del preparado de 0,2ppm + 1mL de agua en un vial cerrado. Se introdujo la fibra en el espacio de cabeza por 20 minutos a 85 ° C, luego se colocó por 2 minutos en el inyector a 180 ° C, para que se produzca el desorbimiento y se inyectó.

De igual manera se tomaron 1mL de cada una de las muestras, se introdujo en el vial + 1mL de agua destilada, y se repitió el procedimiento anteriormente descrito.

Las condiciones del cromatógrafo fueron: Temperatura del inyector: 180°C

Flujo en columna: 1,0 mL/min

Gas: Helio pureza 99,9999%

Split: off

Rampa de la columna: Se parte de una temperatura de 40°C, la cual se mantiene estable por un minuto, se incrementa la temperatura a razón de ocho grados centígrados por minuto, hasta alcanzar los 160°C, finalmente se mantiene a esta temperatura por dos minutos, el tiempo total de análisis es de dieciocho minutos.

Para el análisis se utilizó un equipo de cromatografía gaseosa marca Varian modelo 4200 y un detector de masas Varian Modelo Saturn 2100.

2.6 Análisis de PHAs.

- a) Para este análisis se usó un estándar ACCUSTANDAR para PHAS de 20 ppm, de éstos se prepararon estándares de 0,2 ppm diluyendo con Acetonitrilo calidad HPLC.
- b) La muestra se preparó pesando aproximadamente 0,25g de musgo, maceándolo por una noche en acetonitrilo + 30 minutos de extracción en ultrasonido, finalmente se filtró y aforó hasta alcanzar un volumen de 3mL en viales cerrados.

Se inyectaron tanto de muestra como de estándar 4mL.

Las condiciones del cromatógrafo fueron:

Temperatura del inyector: 260°C

Flujo en columna: 1,0 mL/min

Gas: Helio pureza 99,9999%

Split On: 10

Rampa de la columna: Se parte de una temperatura de 60°C, la cual se mantiene estable por un minuto, se incrementa la temperatura a razón de veinte grados centígrados por minuto, hasta alcanzar los 90°C, se mantiene a

esta temperatura por un minuto. Se incrementa la temperatura a razón de 10 grados centígrados por minuto hasta alcanzar los 180°C, a esta temperatura se mantiene la columna por cuatro minutos. Se vuelve a incrementar la temperatura a una velocidad de 10 grados centígrados por minutos, hasta alcanzar los 280°C, finalmente se mantiene a esta temperatura por tres minutos. El tiempo total de análisis es de veinte y nueve minutos y medio. Para el análisis se utilizó un equipo de cromatografía gaseosa marca Varian modelo 4200 y un detector de masas Varian, modelo Saturn 2100.

2.7 Tratamiento de los Resultados.

Para obtener resultados en función de la deposición en la atmósfera utilizamos la siguiente expresión.

$$\log_{10}(\text{concentración en el musgo}) = 0,59 + 1,0 \log_{10}(\text{deposición atmosférica})$$

concentración en el musgo: ppm

deposición atmosférica : ug/m³

3. Resultados.

3.1 Análisis de Metales Pesados.

El análisis arrojó resultados en los veinte sitios elegidos para depositar los bio-indicadores, los cuales se detallan a continuación. (Tabla 2) (Gráficos 9 y 10). Se pueden apreciar también la concentración de absorción (bioacumulación) en el musgo en ese espacio de tiempo (tabla 3)

Tabla No 2.
Concentración de plomo y cadmio en el musgo,
tras la exposición de 50 días en la ciudad.

Sector de la ciudad	Concentración de Plomo en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Cadmio en ug/m ³ producto de 50 días.
Sangolquí	1,61	0
Guamaní	1,89	0
Parque Lineal	3,06	0
Chillogallo (UPS Sur)	1,32	0
Magdalena	1,61	0
Alameda	0,73	0
El Girón (UPS Girón)	1,61	0
La Gasca	2,48	0
Mariana de Jesús	1,61	0
La Carolina	1,61	0
Parque Chile	1,31	0
Zámbisa	3,86	0,033
Quito Tenis	0,44	0
La Luz	1,32	0
Parque Inglés	0,73	0
Cotocollao	2,18	0
Ponciano	1,32	0
Carcelén	0,73	0
Carapungo	1,31	0
Calderón	1,02	0

Tabla No 3.

Bioacumulación de plomo y cadmio en el musgo,
tras la exposición de 50 días en la ciudad.

Sector de la ciudad	Miligramos de Pb absorbidos por 0,5 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Pb En el musgo	Miligramos de Cd absorbidos por 0,5 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Cd En el musgo
Sangolquí	0,003132118	6,267997701		
Guamaní	0,003701595	7,376633187		
Parque Lineal	0,005979499	11,93036485		
Chillogallo (UPS Sur)	0,002562642	5,124259886		
Magdalena	0,003132118	6,262984305		
Alameda	0,00142369	2,843967649		
El Girón (UPS Girón)	0,003132118	6,256728827		
La Gasca	0,004840547	9,675288221		
Mariana de Jesús	0,003132118	6,255479231		
La Carolina	0,003132118	6,246746013		
Parque Chile	0,002562642	5,111993555		
Zámbisa	0,007118451	15,01782917	6,23649E-05	0,131571469
Quito Tenis	0,000854214	1,694196991		
La Luz	0,002562642	5,123235444		
Parque Inglés	0,00142369	2,846811048		
Cotocollao	0,004271071	8,499643015		
Ponciano	0,002562642	5,119141768		
Carcelén	0,00142369	2,825342737		
Carapungo	0,002562642	5,107917817		
Calderón	0,001993166	3,95626496		

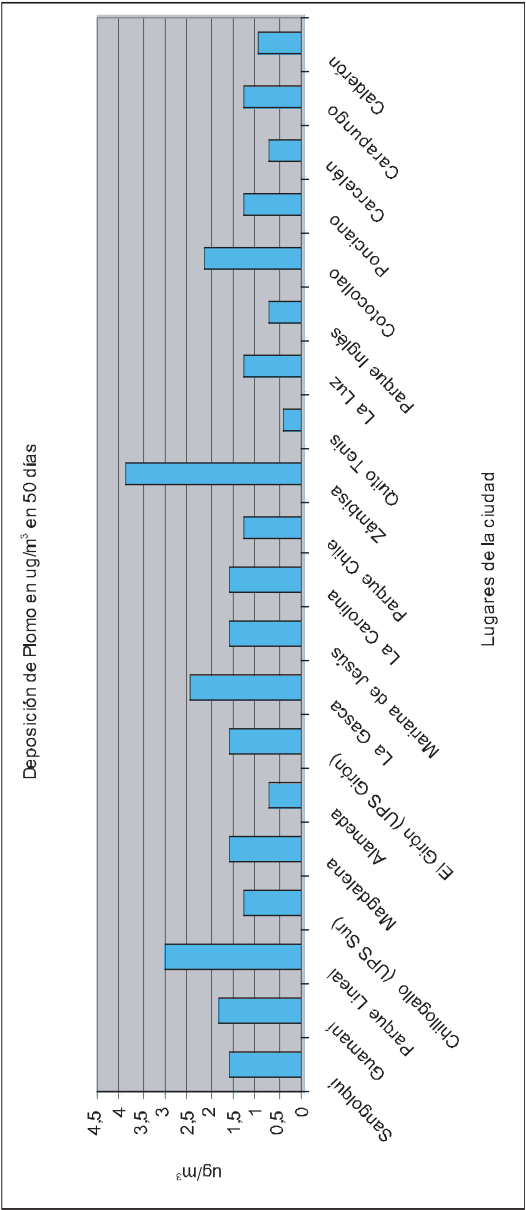


Gráfico 9. Concentración de Plomo en la ciudad

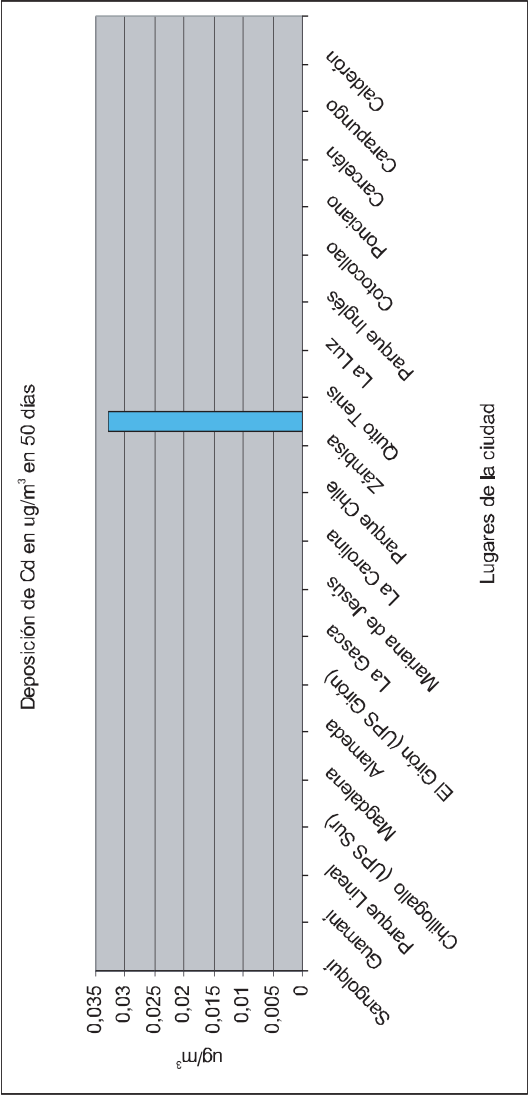


Gráfico 10. Concentración de Cadmio en la ciudad

4.2 Análisis de los BTX.

El análisis arrojó resultados en los veinte sitios elegidos para depositar los bio-indicadores, los cuales se detallan a continuación. (Tabla 4) (Gráficos 11 y 12). Se pueden apreciar también la concentración de absorción (bioacumulación) en el musgo en ese espacio de tiempo (tabla 5)

Tabla No 4.

Concentración de BTX en el aire de la ciudad.

Sector de la ciudad	Concentración de Tolueno en ug/m ³ producto de 50 dias.	Concentración de Etilbenceno en ug/m ³ producto de 50 dias.	Concentración de o-xileno en ug/m ³ producto de 50 dias.	Concentración de p-xileno en ug/m ³ producto de 50 dias.	Concentración de diclorobenceno en ug/m ³ producto de 50 dias.
Sangolquí	0,1898	0	0	0	0
Guamaní	0,163629638	0	0	0	0
Parque Lineal	0,191123847	0	0	0	0
Chillogallo (UPS Sur)	0	0	0	0	0
Magdalena	0	0	0	0	0
Alameda	0	0	0	0	0,09243
El Girón (UPS Girón)	0	0	0	0	0,12368
La Gasca	0	0	0	0	0,2716
Mariana de Jesús	0	0	0	0	0,26047
La Carolina	0	0	0	0	0
Parque Chile	0,132986057	0	0	0	0,02748

Zámbara	0,191163718	0	0	0	0	0,02597
Quito Tenis	0,143705122	0	0	0	0	0,107529
La Luz	0	0	0	0	0	0
Parque Inglés	0	0	0	0	0	0
Cotacollao	0	0	0	0	0	0
Ponciano	0,159873175	0	0	0	0	0,07516
Carcelén	0	0	0	0	0	0
Carapungo	0	0	0	0	0	0
Calderón	0	0	0	0	0	0

Tabla No 5.
Biacumulación de BTX en el musgo

Sector de la ciudad	Miligramos de Tolueno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Tolueno en el musgo	Miligramos de Etil benceno absorbidos por 0,25 gramos 50 días	Concentración en ppm de Etil benceno en el musgo	Miligramos de Oxileno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de O-xileno en el musgo	Miligramos de p-xileno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de p-xileno en el musgo	Miligramos de Dicloro-benceno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Dicloro-benceno en el musgo
Sangolquí	0,0001847	0,7386822	0	0	0	0	0	0	0	0
Guamaní	0,0001589	0,6365931	0	0	0	0	0	0	0	0
Parque Lineal	0,0001855	0,7435580	0	0	0	0	0	0	0	0
Chillogallo (UPS Sur)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Magdalena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alameda	0	0	0	0	0	0	0	0	9,004E-05	0,3595879
El Girón (UPS Girón)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0001204	0,4811597
La Gasca	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0002646	1,0566514
Mariana de Jesús	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0002538	1,0133429
La Carolina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parque Chile	0,0001296	0,5173758	0	0	0	0	0	0	2,67817E-05	0,1069127

BIOMONITOREO DE CONTAMINANTES

Zámbara	0,0001867	0,7437131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1010561
Quito Tennis	0,0001399	0,5590778	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4183375
La Luz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parque Inglés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cotacollao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ponciano	0,0001553	0,6219788	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2924188
Carcelén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carapungo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calderón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

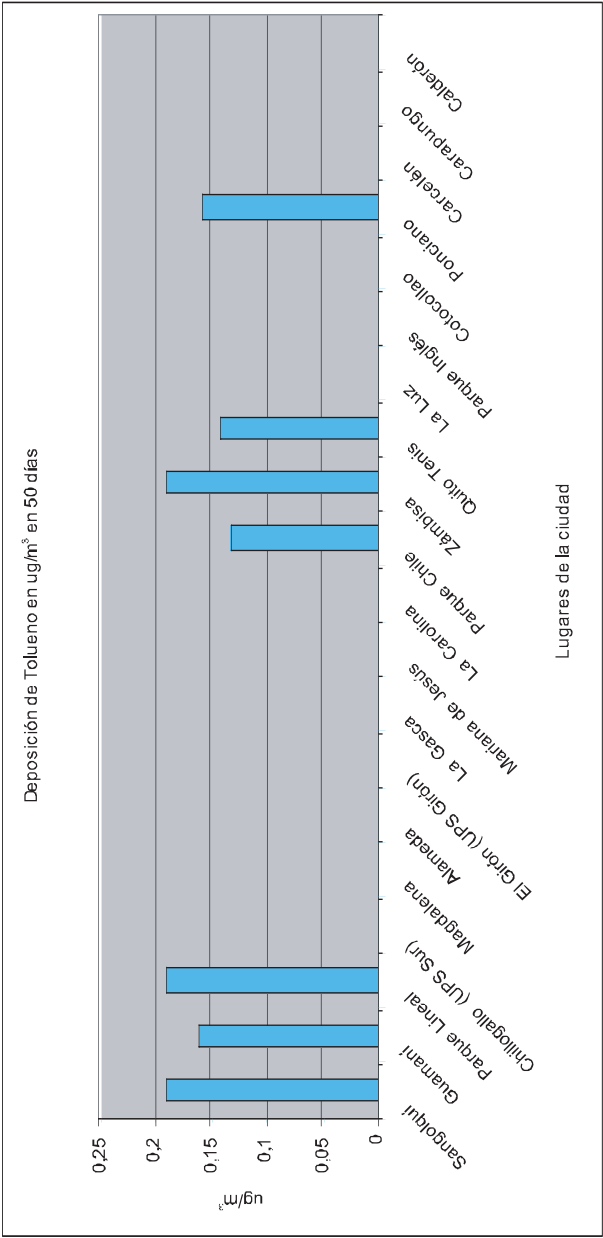


Gráfico 11. Concentración de Tolueno en Quito

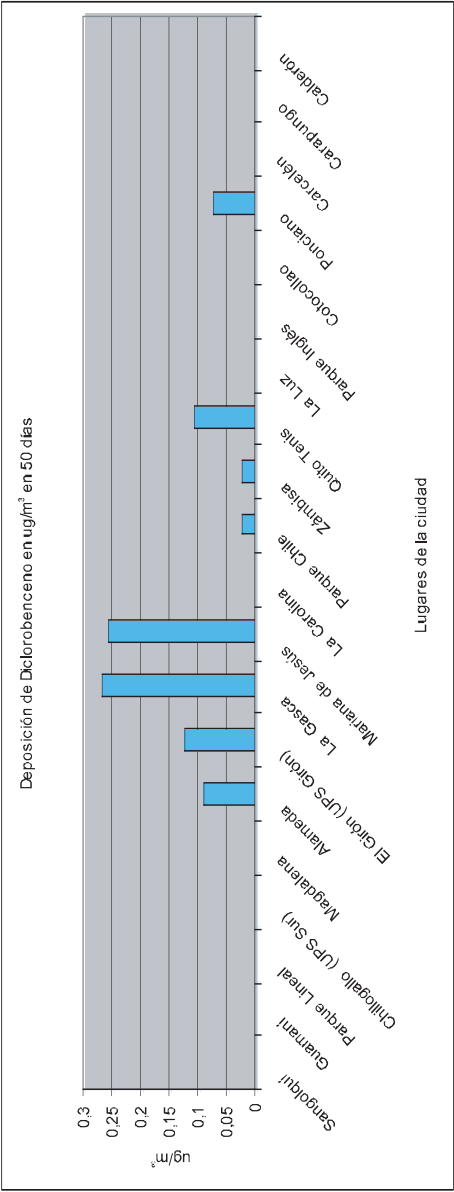


Gráfico 12. Concentración de Dclorobenceno en Quito

4.3. Análisis de PHAs

El análisis arrojó resultados en los veinte sitios elegidos para depositar los bio-indicadores, los cuales se detallan a continuación. (tabla 6) (Gráficos 13 al 19). Se pueden apreciar también la concentración de absorción (bioacumulación) en el musgo en ese espacio de tiempo (tabla 7)

Tabla No 6.
Concentración de PHAs en el aire de la ciudad.

Sector de la ciudad	Concentración de Nafialeno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Acetanaftaleno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Acetanafteno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Fluoreno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Antraceno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Fenantreno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Fluorantreno en ug/m ³ producto de 50 días.	Concentración de Pireno en ug/m ³ producto de 50 días.
Sangolquí	0	51,37	53,62	0	0	0	8,88	0
Guamaní	0	0	0	0	0	0	8,38	0
Parque Linceal	0,2806	0	3,85	0	0	0	3,59	0
Chillozallo (UPS Sur)	9,5316	17,59	22,68	0	0	0	5,99	0,33
Magdalena	0	8,98	28,37	6,54	0	0	21,57	4,38
Alameda	0	0	0	0	0	0	16,7	0
El Girón (UPS Girón)	5,908	74,18	0	0	0	0	16,91	0
La Gasca	0	0	176,12	0	0	0	27,28	0

Mariana de Jesús	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Carolina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parque Chile	3,355	4,01	8,49	8,84	1,97	0	9,88	0	0	0
Zámbisa	2,2736	0	5,79	3,79	0	0	6,76	2,4	0	0
Quito Tenis	6,4663	0	0	73,4	14,29	0	10,98	0	0	0
La Luz	2,9481	6,69	20,89	0	0	0	18,88	0	0	0
Parque Inglés	0	0	0	24,74	0	0	18,81	0	0	0
Cotocollao	2,1928	0	0	0	0	0	8,32	0	0	0
Ponciano	0	20,49	6,47	0	3,45	0	18,99	7,12	0	0
Carcelén	0	4,05	7,89	5,25	0	0	23,95	0	0	0
Carapungo	0	0	6,33	5,62	4,69	0	13,69	0	0	0
Calderón	2,0848	0	6,07	0	2,46	0	26,67	0	0	0

Tabla No 7.
Acumulación de PHAs en el aire de la ciudad.

Sector de la ciudad	Miligramos de Naftaleno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Naftaleno en el musgo	Miligramos de Acetato absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Acetato en el musgo	Miligramos de Acetato absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Acetato en el musgo	Miligramos de Fluoreno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Fluoreno en el musgo	Miligramos de Antraceno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Antraceno en el musgo	Miligramos de Fluorantreno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Fluorantreno en el musgo	Miligramos de Pireno absorbidos por 0,25 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Pireno en el musgo
Sangolquí	0	0	0,04997	199,86	0,05214	208,59	0	0	0	0	0,00864	34,56	0	0
Guamaní	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00815	32,61	0	0
Parque Lineal	0,00027	1,092	0	0	0,00374	14,96	0	0	0	0	0,00349	13,97	0	0
Chillegallo (UPS Sur)	0,00927	37,08	0,01711	68,46	0,02206	88,25	0	0	0	0	0,00582	23,31	0,00032	1,29
Magdalena	0	0	0,00873	34,94	0,02760	110,41	0,00635	25,43	0	0	0,02097	83,92	0,00426	17,04
Alameda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01624	64,96	0	0
El Girón (UPS Girón)	0,00574	22,98	0,07215	288,61	0	0	0	0	0	0	0,01645	65,80	0	0
La Gasca	0	0	0	0	0,17129	685,19	0	0	0	0	0,02653	106,15	0	0
Mariana de Jesús	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Carolina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parque Chile	0,00324	12,98	0,00390	15,61	0,0082	33,02	0,00860	34,41	0,00191	7,66	0,00961	38,44	0	0
Zambisa	0,00221	8,85	0	0	0,00563	22,54	0,003683	14,73	0	0	0,00658	26,32	0,00233	9,33

BIOMONITOREO DE CONTAMINANTES

Quito Tennis	0,00629	25,16	0	0	0	0	0	0	0	0,07138	285,56	0,01390	55,61	0,01068	42,74	0	0
La Luz	0,00287	11,47	0,00650	26,02	0,02031	81,27	0	0	0	0	0	0	0	0,01835	73,43	0	0
Parque 0 Inglés	0	0	0	0	0	0,02405	96,23	0	0	0,01304	52,17	0	0	0	0	0	0
Cotacollo	0,0021	8,53	0	0	0	0	0	0	0	0,00808	32,36	0	0	0	0	0	0
Ponciano	0	0	0,01992	79,70	0,00629	25,19	0	0	0	0,00335	13,42	0,01652	0,01652	0,01652	66,09	0,00692	27,70
Carcelén	0	0	0,00394	15,76	0,00767	30,70	0,00511	20,44	0	0	0	0,02329	0,02329	0,02329	93,19	0	0
Carapungo	0	0	0	0	0,00615	24,63	0,00546	21,87	0,00456	18,26	0,01331	0,01331	0,01331	0,01331	53,26	0	0
Calderón	0,00202	8,11	0	0	0,00590	23,627	0	0	0,00238	9,55	0,02593	0,02593	0,02593	0,02593	103,76	0	0

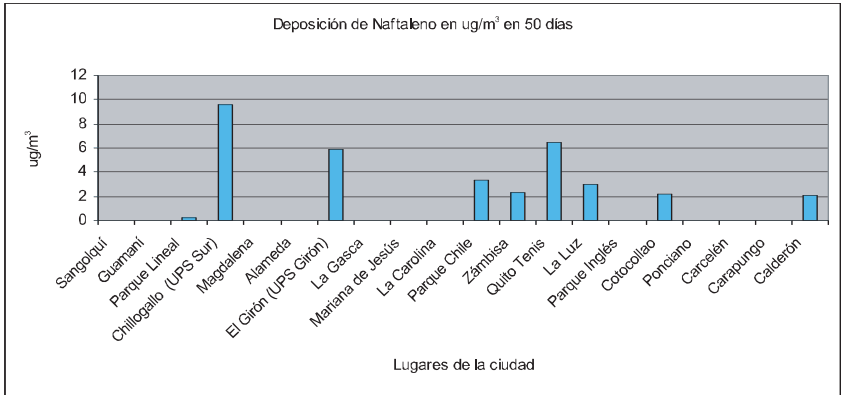


Gráfico 13. Concentración de Naftaleno en Quito.

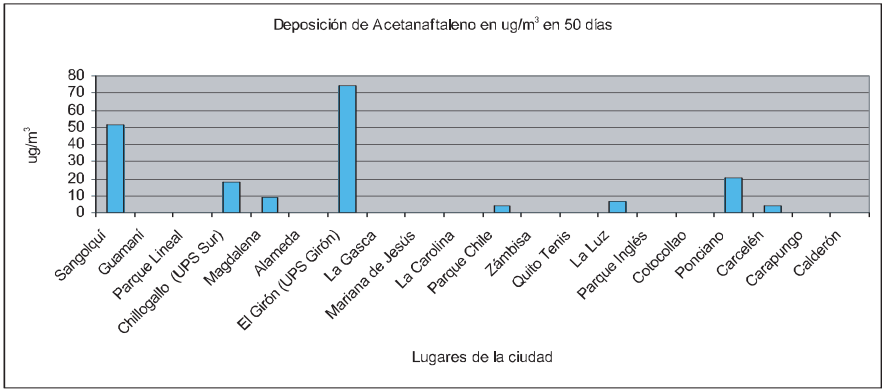


Gráfico 14. Concentración de Acetanaftaleno en la ciudad de Quito.

BIOMONITOREO DE CONTAMINANTES

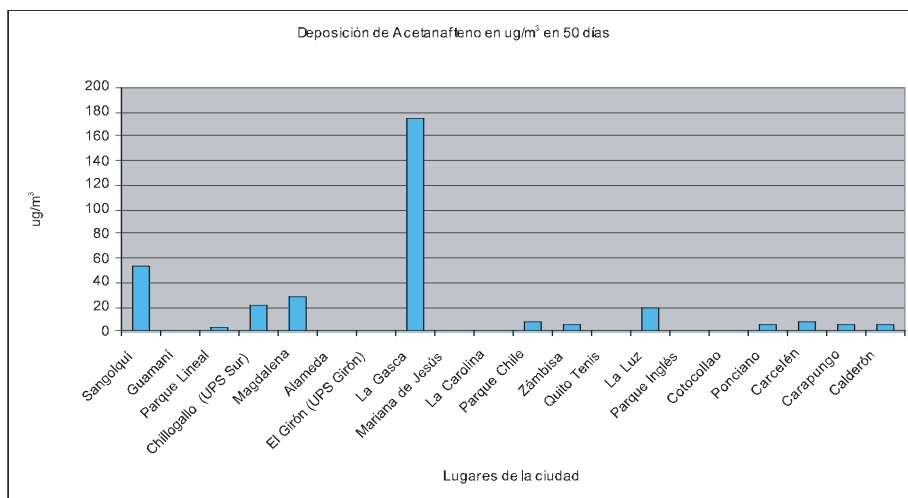


Gráfico 15. Concentración de Acetanafteno en la ciudad de Quito.

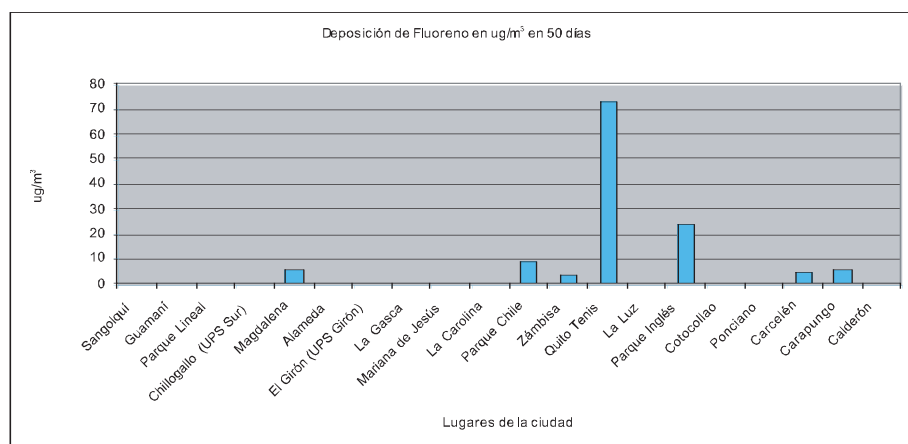


Gráfico 16. Concentración de Fluoreno en la ciudad de Quito.

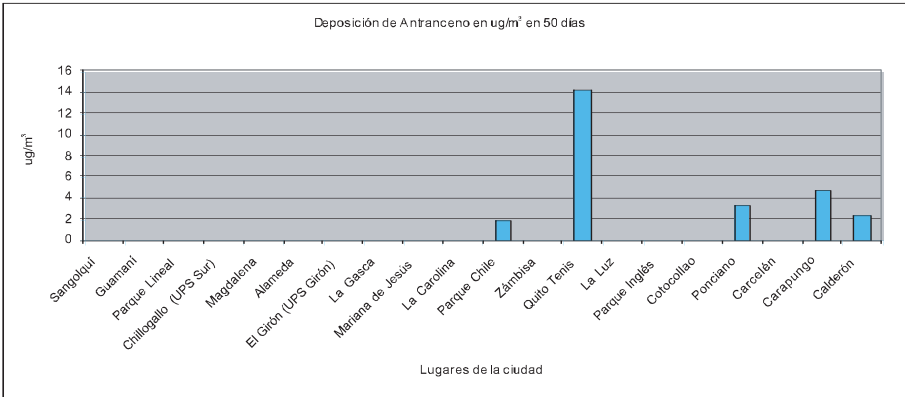


Gráfico 17. Concentración de Antraceno en la ciudad de Quito.

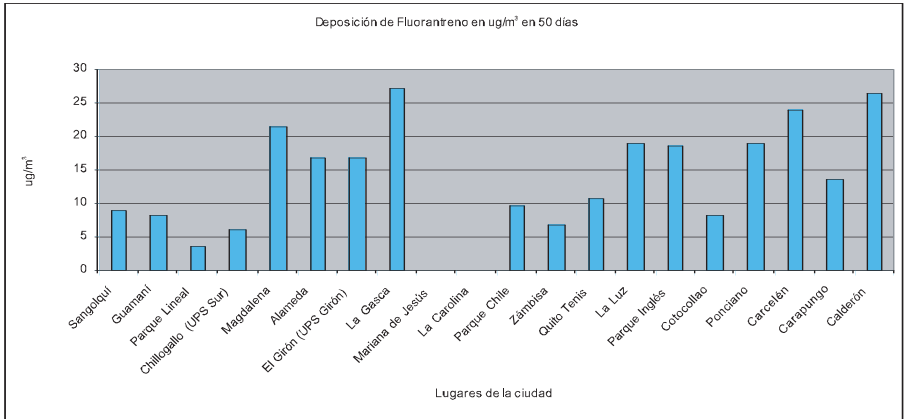


Gráfico 18. Concentración de Fluorantreno en la ciudad de Quito.

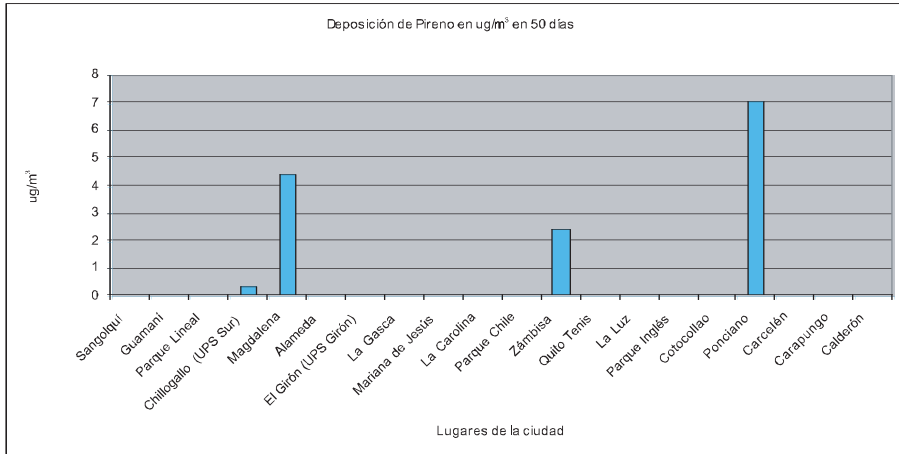


Gráfico 19. Concentración de Pireno en la ciudad de Quito

5. Observaciones, Conclusiones y Recomendaciones.

- Para la cuantificación de la deposición metálica (Pb y Cd) del musgo, se empleó la técnica analítica conocida como espectroscopia de absorbi-miento atómico, la cual opera preparando una curva de calibración con estándares de soluciones conocidas, concentración en función de la absor-bancia, para posteriormente calcular la concentración en el musgo por simple interpolación de valores. La relación entre concentración y absor-bancia para el rango de interés siempre debe ser lineal. (Ver gráfico 20)

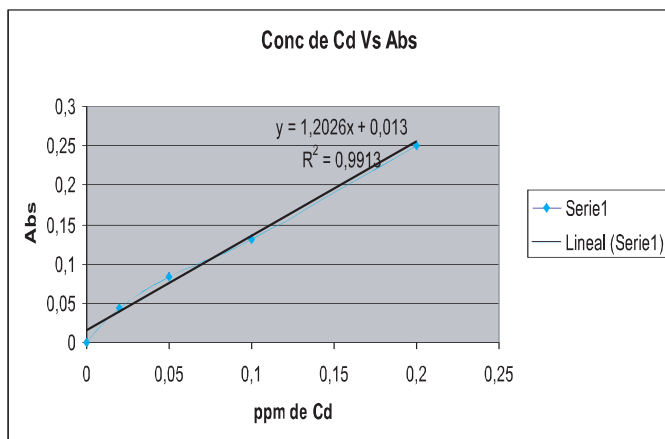


Gráfico 20. Curva de calibración para el Cadmio.

- Para la cuantificación de la deposición de compuestos orgánicos (BTX y PHAs) en el musgo, se empleó la técnica analítica conocida como cromatografía gaseosa, la cual separa los compuestos de una matriz compleja, y los compara con un estándar certificado, tal como se muestra el gráfico 21, (Comparación del estándar de HAPs de 0,20 ppm con una muestra de musgo). La relación entre el área del pico cromatográfico y la concentración es lineal, los picos de un mismo compuesto aparecen a tiempos de retención idénticos. Para verificar la naturaleza del componente analizado nos valemos de la espectrometría de masas, como se aprecia en el gráfico No 22.

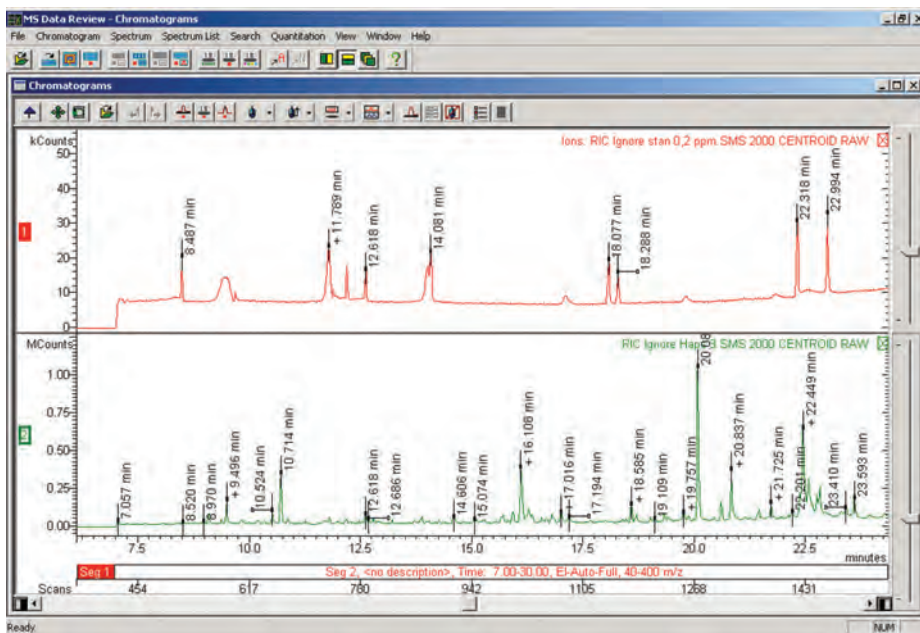


Gráfico 21. Comparación entre el estándar de HAPs, gráfico superior, y una muestra de musgo en el gráfico inferior.

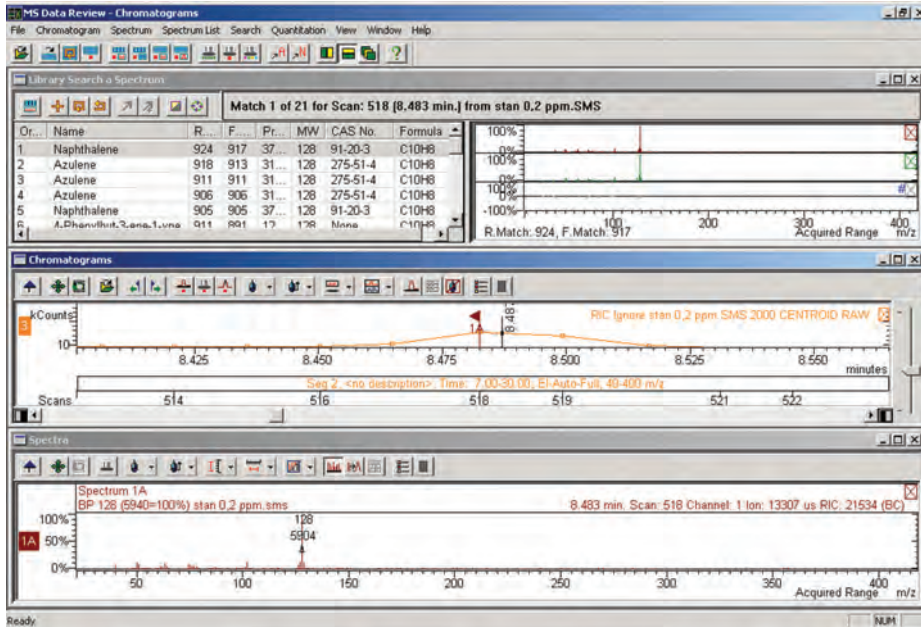


Gráfico 22. Verificación de la naturaleza de los componentes analizados usando espectrometría de masas (espectro del naftaleno)

- Se puede apreciar que en mayor o menor cantidad, se encuentra plomo en el ambiente de la ciudad, a pesar de que hace varios años este metal fue eliminado como parte de los aditivos de la gasolina. La explicación se explicaría por dos razones: 1) El Pb puede provenir de fuentes industriales o por mal manejo de desechos (ver concentración de Zámbrisa) 2) El tiempo de permanencia de este metal en el ambiente es de quince a veinte años, por lo tanto aún deben existir remanentes de su uso como aditivo de los combustibles.
- El Cadmio, un metal muy peligroso, ha sido encontrado en el punto de muestreo cercano al basurero de Zámbrisa, su explicación radica a que es un componente común de desechos de tipo electrónico, y que se constituye en un metal presente en pigmentos para plásticos que al ser incinerados se disipan en el ambiente.
- Lamentablemente, la cuantificación del Benceno no fue posible, debido a una limitación instrumental, ya que nuestro cromatógrafo de gases no consta con un sistema de enfriamiento en la columna, lo cual produjo la no aparición de la señal cromatografía de esta molécula, ni en el estándar, ni tampoco en la muestra.

- En los resultados del resto de contaminantes de tipo orgánico sean BTX y PHAs, se observan deposiciones en el musgo y concentraciones en el aire diversas, sin embargo en varios de ellos se evidencia su presencia. En ningún caso se logra sobrepasar las dosis letales y las dosis para presentar síntomas de envenenamiento, sin embargo apreciando los resultados de absorción en el musgo, se aprecia su potencial peligro en lo referente a la bioacumulación que en el tiempo podría causar algunos problemas de salud a los pobladores de la ciudad.

Bibliografía.

A cross-agency U.S. Government Web site List of AIRNow partner agencies.. En línea: (<http://www.epa.gov/airnow>). Consulta 15 de octubre del 2007.

Amado-Filho, Salgado ,LT; Rebelo, MF; Rezende, CE; Karez, Cs and Pfeifer, WC. 2008. Heavy metals in benthic organisms from Todos os Santos Bay, Brazil. **Braz, J Biol** 68(1): 95-100.

Carrol Chris, Peter Essick. Basura Tecnológica. National Geographic Enero 2008 22 (01): pp 2-25.

Colin Baird. **Química Ambiental**. Editorial Reverte S.A; España 2004. 622 pp.

Dickson T.R. Química Enfoque Ecológico. Editorial Limusa. México D.F 1999. 406 pp.

Environmental Protection Agency United States. Technology Transfer Network Air Toxics Web Site. <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapintro.html> en línea: consulta 24 de marzo del 2007.

Mackenzie L. Davis. **Ingeniería y Ciencias Ambientales**. Editorial McGrawHill. México DF 2007. 476pp.

Mohamedd S. Zuraimi y Kwok W. Tham 2007. Effects of Child Care Center Ventilation Strategies on Volatile Organic Compounds of Outdoor Origins. **Environ. Sci. Technol** 42 (06): 2054-2059.

Plan de manejo de la Calidad del Aire del Distrito Metropolitano de Quito Periodo 2005-2010; Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. Quito, marzo del 2005.

Stanley E. Manahan. **Introducción a la Química Ambiental**. Editorial Reverté España 2007. 725pp.

Shilu Tong, Yasmin E. Von Schirnding, Tippawan Prapamonto. Exposition au plomb dans l'environnement : un probleme de sante publique d'importance mondiale.

Thomas G. Spiro, William M. Stigliani. **Química Medioambiental**. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 504 pp.